

Struktura a typy lékařských přístrojů

X31LET Lékařská technika

Jan Havlík | Katedra teorie obvodů | xhavlikj@fel.cvut.cz

Elektronické lékařské přístroje

- využití přístrojové techniky v medicíně
 - diagnostické systémy
 - např. elektrokardiografy, elektroencefalografy, ultrazvukové diagnostické systémy, tonometry, pulsní oxymetry a další
 - terapeutické systémy
 - např. kardiostimulátory, defibrilátory, ultrazvukové terapeutické systémy, radioterapeutické systémy a další
 - systémy pro chirurgii
 - anesteziologické systémy, kryochirurgické systémy, ultrazvukové chirurgické systémy, laserové systémy a další
 - podpora a náhrady orgánů
 - naslouchadla, kochleární implantáty, podpora zraku, mimotělní krevní oběh, systémy pro hemodialýzu a další

Klasifikace přístrojů a systémů

- biomedicínské přístroje lze dělit podle
 - měřené veličiny
přístroje pro měření tlaku, průtoku, teploty atd.
 - principu snímání
rezistivní, induktivní, kapacitní, ultrazvukový, elektrochemický
 - podle orgánových systémů, pro jejichž sledování jsou určeny
kardiovaskulární systémy, dýchací ústrojí,
endokrinní systémy
 - podle klinické specializace, v které se uplatňují
přístroje pro kardiologii, neurologii, radiologii, oftalmologii atd.

Charakteristiky lékařských systémů

- soubor parametrů umožňujících vzájemně srovnávat jednotlivé přístroje a kvantifikovat jejich vlastnosti
- v závislosti na frekvenci vstupní veličiny dělíme na
 - statické parametry (charakteristiky)

popisují chování systému pro stejnosměrné nebo velmi pomalu se měnící vstupní veličiny (některé sensory a systémy, např. piezoelektrické snímače, reagují pouze na změny vstupní veličiny)
 - dynamické parametry (charakteristiky)

popisují chování systému při změnách vstupních veličin

Statické parametry

- chyba měření (accuracy) [*Web07*]
 - rozdíl mezi naměřenou a správnou hodnotou
 - udává se v procentech z naměřeného údaje nebo rozsahu (např. $\pm 1\%$ z naměřeného údaje, $\pm 1\%$ z rozsahu), u digitálních přístrojů v počtu číslic (např. ± 1 číslice), obvykle v kombinacích údajů
- rozlišení přístroje (precision) [*Web07*]
 - počet číslic, které přístroj zobrazuje (přístroj, který zobrazí naměřený údaj 2,3456 V má větší rozlišení než přístroj, který zobrazí 2,35 V)
- citlivost, rozlišení (resolution) [*Web07*]
 - nejmenší změna vstupní veličiny, kterou přístroj dokáže zaznamenat, u A/D převodníku 1 LSB

Statické parametry

- rozptyl měření (precision) [*CAR00*]
 - schopnost přístroje při opakovaných měření vrátet pro stejnou vstupní veličinu stejný nebo alespoň velmi podobný výsledek
- přesnost měření (accuracy) [*CAR00*]
 - schopnost přístroje při opakovaných měřeních dosáhnout malé odchylky mezi střední hodnotou naměřených výsledků a hodnotou měřené veličiny

Statické parametry

- reprodukovatelnost (opakovatelnost) měření
 - schopnost přístroje naměřit v různém čase při stejném vstupu stejnou hodnotu
- stejnosměrný posun (zero drift)
 - změna měřeného údaje v čase při stále stejném vstupu
- změna přenosové funkce (sensitivity drift)
 - míra ovlivnění přenosové funkce např. velikostí vstupní veličiny, okolním prostředím apod.

Statické parametry

- linearita

- necht' platí

$$y_1 = f(x_1)$$

$$y_2 = f(x_2)$$

- systém je lineární, pokud platí

$$y_1 + y_2 = f(x_1 + x_2)$$

$$K y_1 = f(K x_1)$$

- vstupní rozsah

- povolený rozsah měřené veličiny příp. rozsah měřené veličiny, ve kterém je přístroj schopen měřit s definovanými parametry

Statické parametry

- vstupní impedance
 - protože často měříme neelektrické veličiny, použijme zobecněnou definici impedance
 - pro každou měřenou veličinu X_{d1} (veličina typu úsilí) existuje taková veličina X_{d2} (veličina typu tok), že jejich součin má rozměr výkonu (jedná se o dvojice např. napětí – proud, síla – rychlost, tlak – průtok; první veličina vždy reprezentuje úsilí, s kterým lze dosáhnout děje vyjádřeného druhou veličinou)
$$P = X_{d1} \cdot X_{d2}$$
 - výkon reprezentuje množství energie, kterou za jednotku času odebereme z měřeného systému

Statické parametry

- impedanci pak definujeme jako podíl fázorů (je třeba uvažovat harmonické průběhy veličin)

$$Z = \frac{X_{d1}}{X_{d2}}$$

- dosazením do rovnice pro výkon dostaneme

$$P = X_{d1} \cdot X_{d2} = \frac{X_{d1}^2}{Z} = Z \cdot X_{d2}^2$$

- pro minimalizaci ovlivnění měřeného děje (minimalizaci energie spotřebované při měření) potřebujeme při měření veličin typu X_{d1} (veličina typu úsilí) systémy s co největší impedancí, pro měření veličin typu X_{d2} (veličina typu tok) naopak systémy s impedancí jdoucí k nule

Dynamické parametry

- parametry popisující chování systému při změnách vstupních veličin
- pouze ve výjimečných případech jsou biologické signály stejnosměrné nebo jen velmi pomalu se měnící (např. tělesná teplota), obvykle jsou to signály se spektrem frekvencí od jednotek do desítek Hz
- časové závislosti mezi vstupní a výstupní veličinou popisujeme pomocí přenosových charakteristik
- vztah mezi vstupní veličinou a výstupem ve frekvenční (operátorové) oblasti popisuje přenosová funkce

Přenosové charakteristiky

- impulsní charakteristika $w(t)$
 - odezva obvodu na Diracův impuls $d(t)$

$$w(t) = \mathcal{L}^{-1} \{P(p)\}$$

- přechodová charakteristika $a(t)$
 - odezva obvodu na jednotkový skok $\mathbf{I}(t)$

$$a(t) = \mathcal{L}^{-1} \left\{ \frac{P(p)}{p} \right\}$$

Přenosová funkce

- přenosová funkce lineárního systému s konstantními parametry je racionální lomená funkce

$$P(j\omega) = \frac{Y(j\omega)}{X(j\omega)} = \frac{b_M(j\omega)^M + \dots + b_1(j\omega) + b_0}{a_N(j\omega)^N + \dots + a_1(j\omega) + a_0}$$

- vstupní veličina je harmonická
- výstupní veličina je také harmonická, se stejnou frekvencí jako vstupní veličina, amplituda a fáze výstupu jsou funkcí frekvence

Přenosová funkce

- přenosová funkce nultého řádu

$$a_0 y(t) = b_0 x(t)$$

$$P(j\omega) = \frac{Y(j\omega)}{X(j\omega)} = \frac{b_0}{a_0} = K$$

- výstup je frekvenčně nezávislý na vstupu

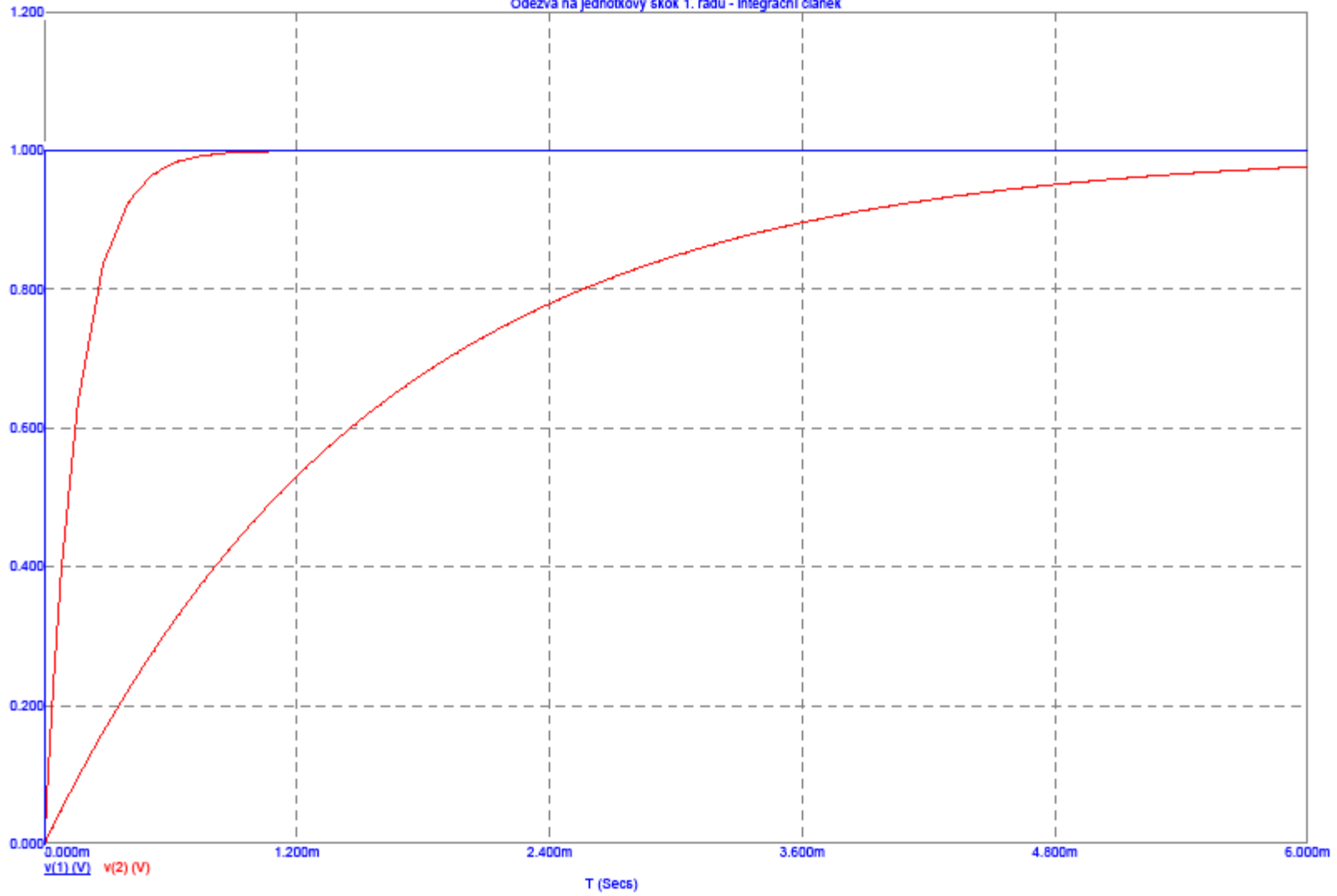
Přenosová funkce

- přenosová funkce prvního řádu

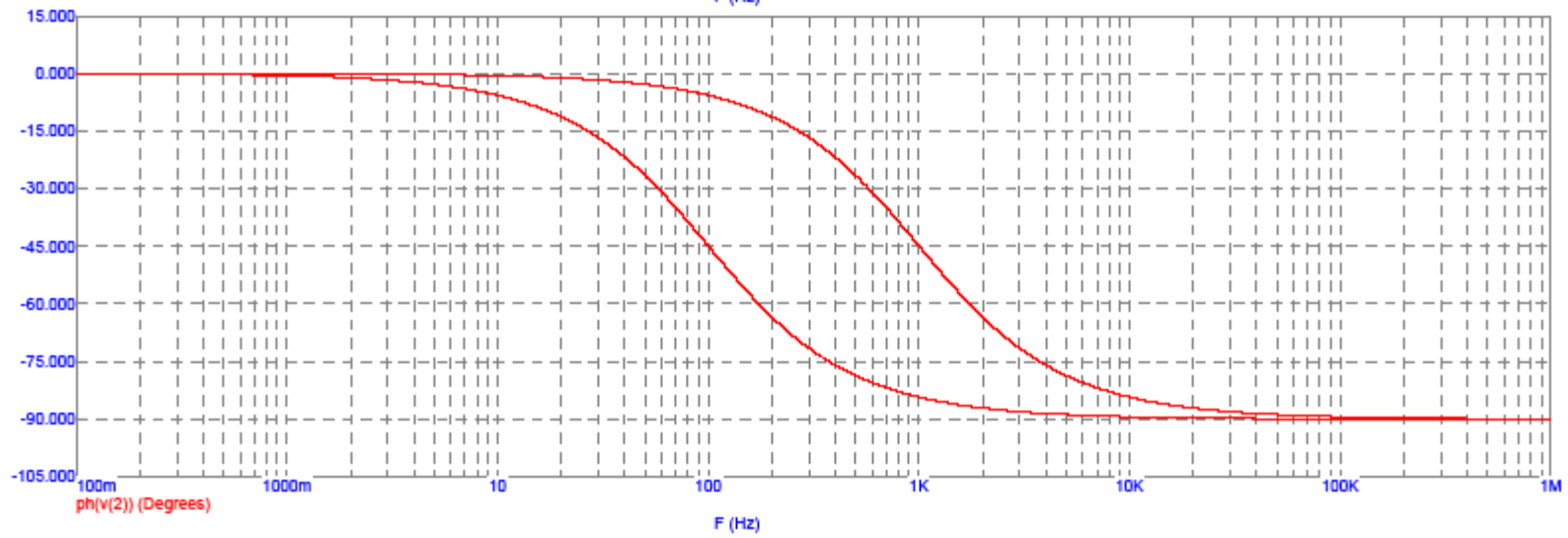
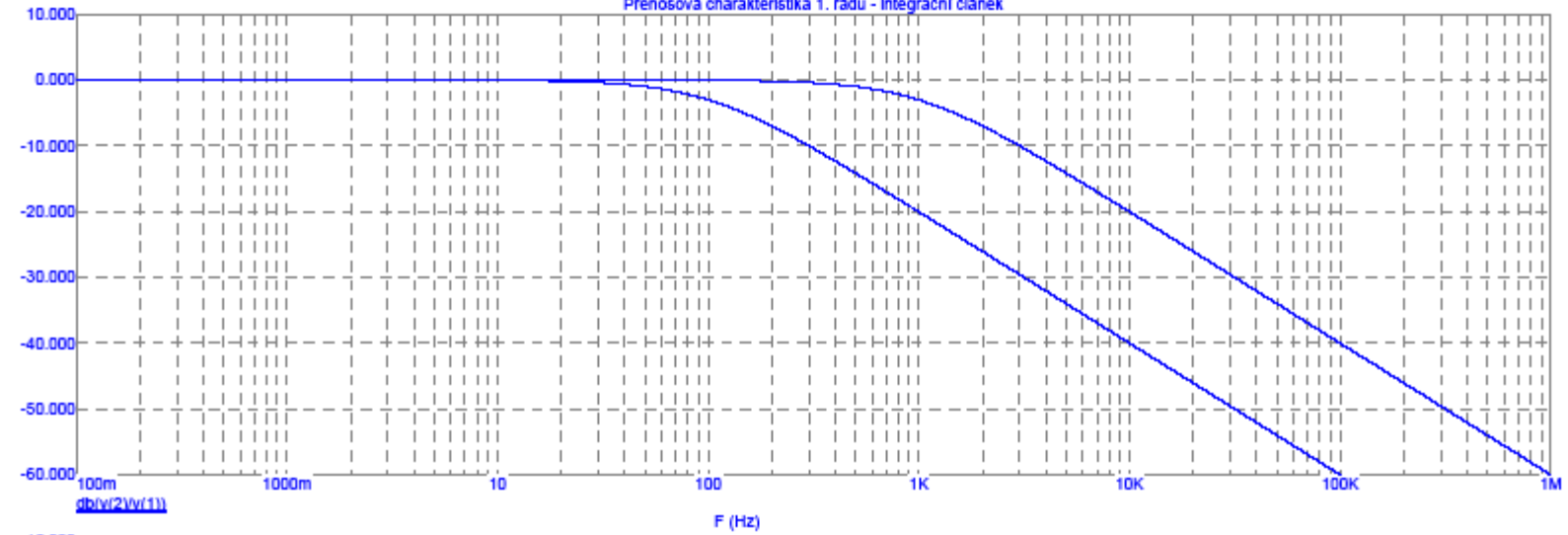
$$a_1 \frac{dy(t)}{dt} + a_0 y(t) = b_0 x(t)$$

$$P(j\omega) = \frac{Y(j\omega)}{X(j\omega)} = \frac{K}{1 + j\omega\tau}$$

Micro-Cap 8 Evaluation Version
Odezva na jednotkový skok 1. řádu - Integrační členek



Micro-Cap 8 Evaluation Version
Přenosová charakteristika 1. řádu - integrační členek



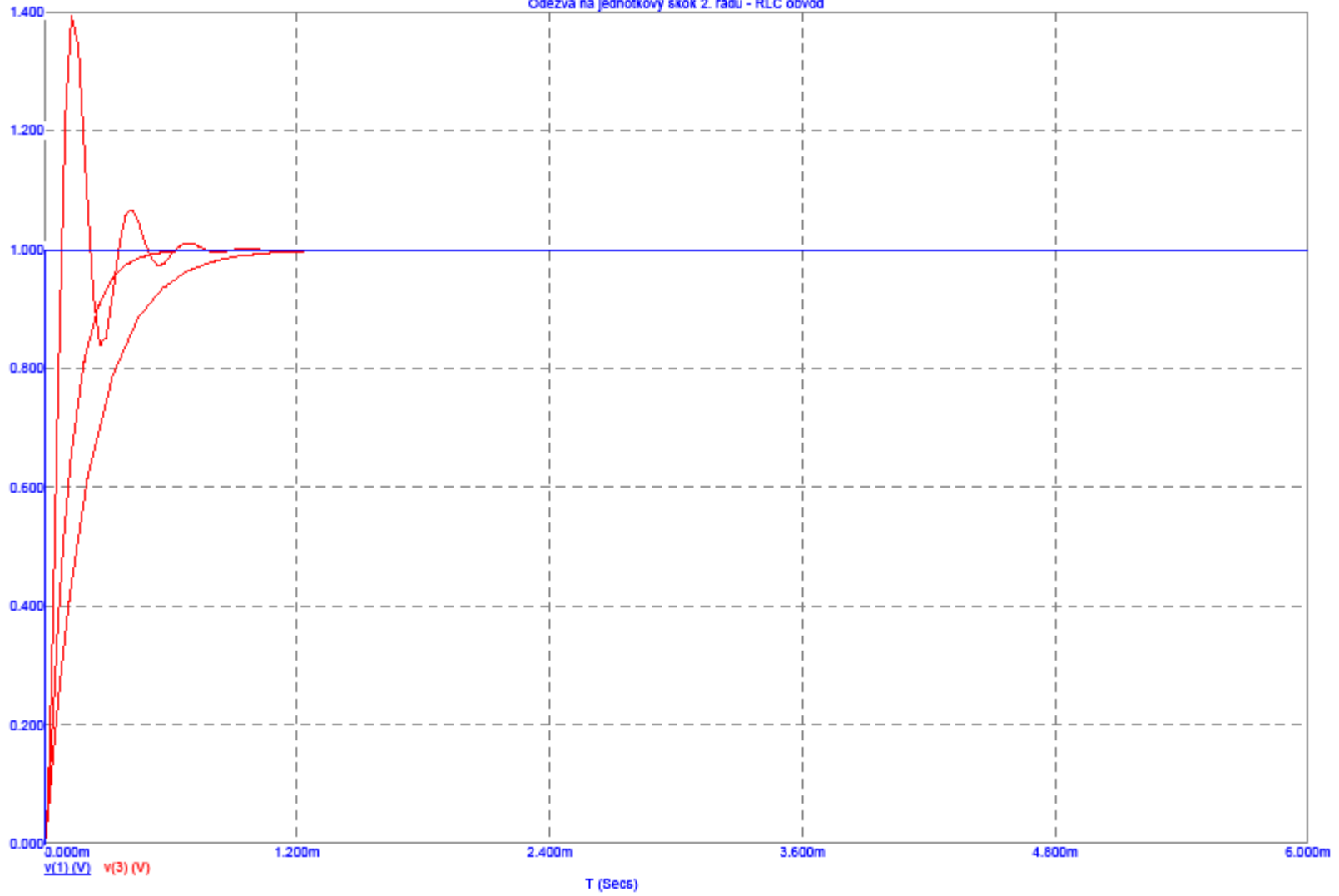
Přenosová funkce

- přenosová funkce druhého řádu

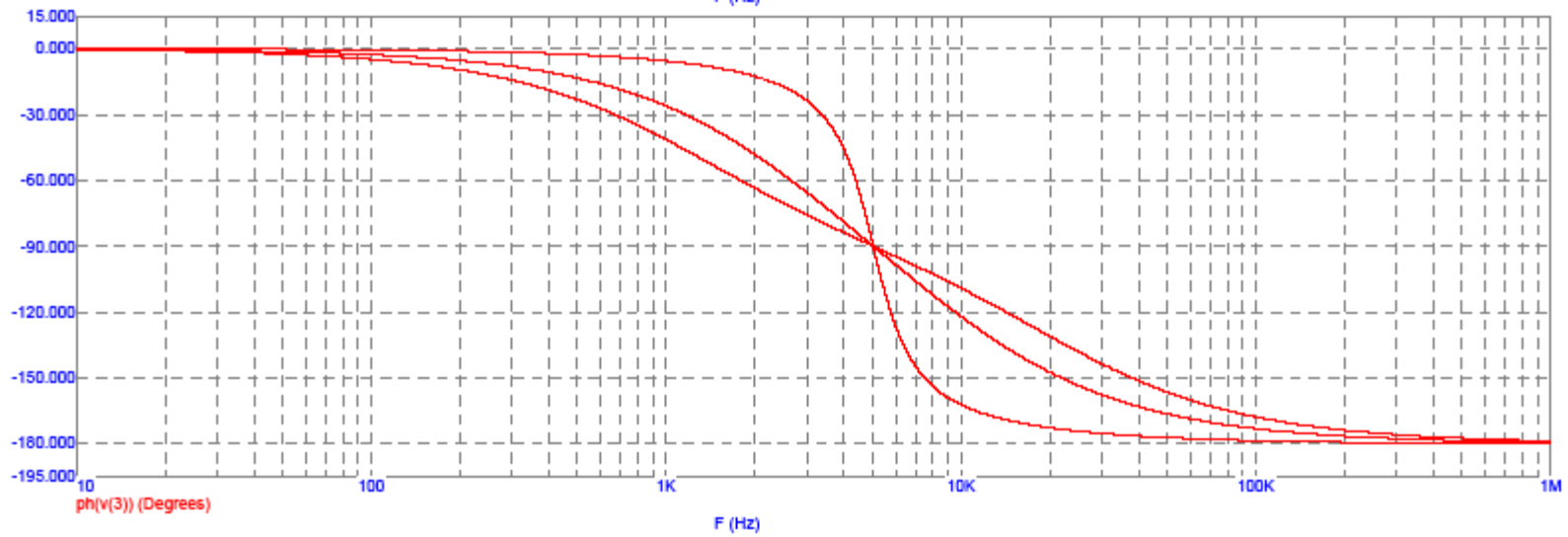
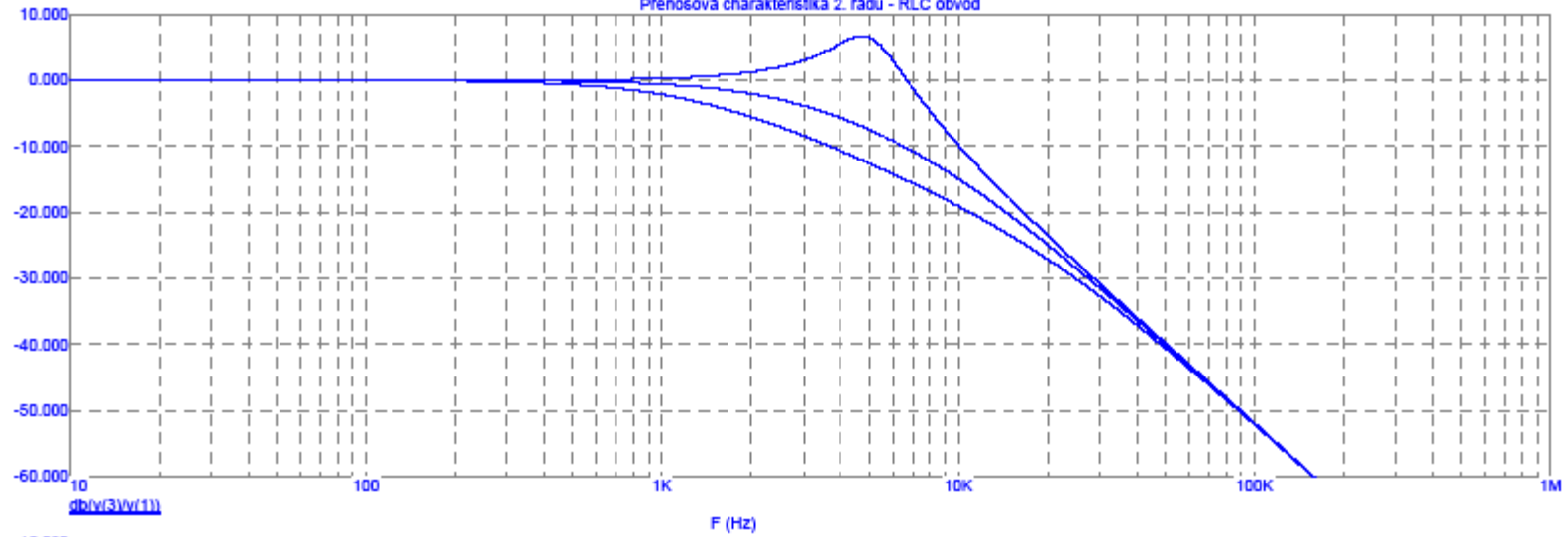
$$a_2 \frac{dy^2(t)}{dt^2} + a_1 \frac{dy(t)}{dt} + a_0 y(t) = b_0 x(t)$$

$$P(j\omega) = \frac{Y(j\omega)}{X(j\omega)} = \frac{K}{j\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2 + 2aj\frac{\omega}{\omega_0} + 1}$$

Micro-Cap 8 Evaluation Version
Odezva na jednotkový skok 2. řádu - RLC obvod



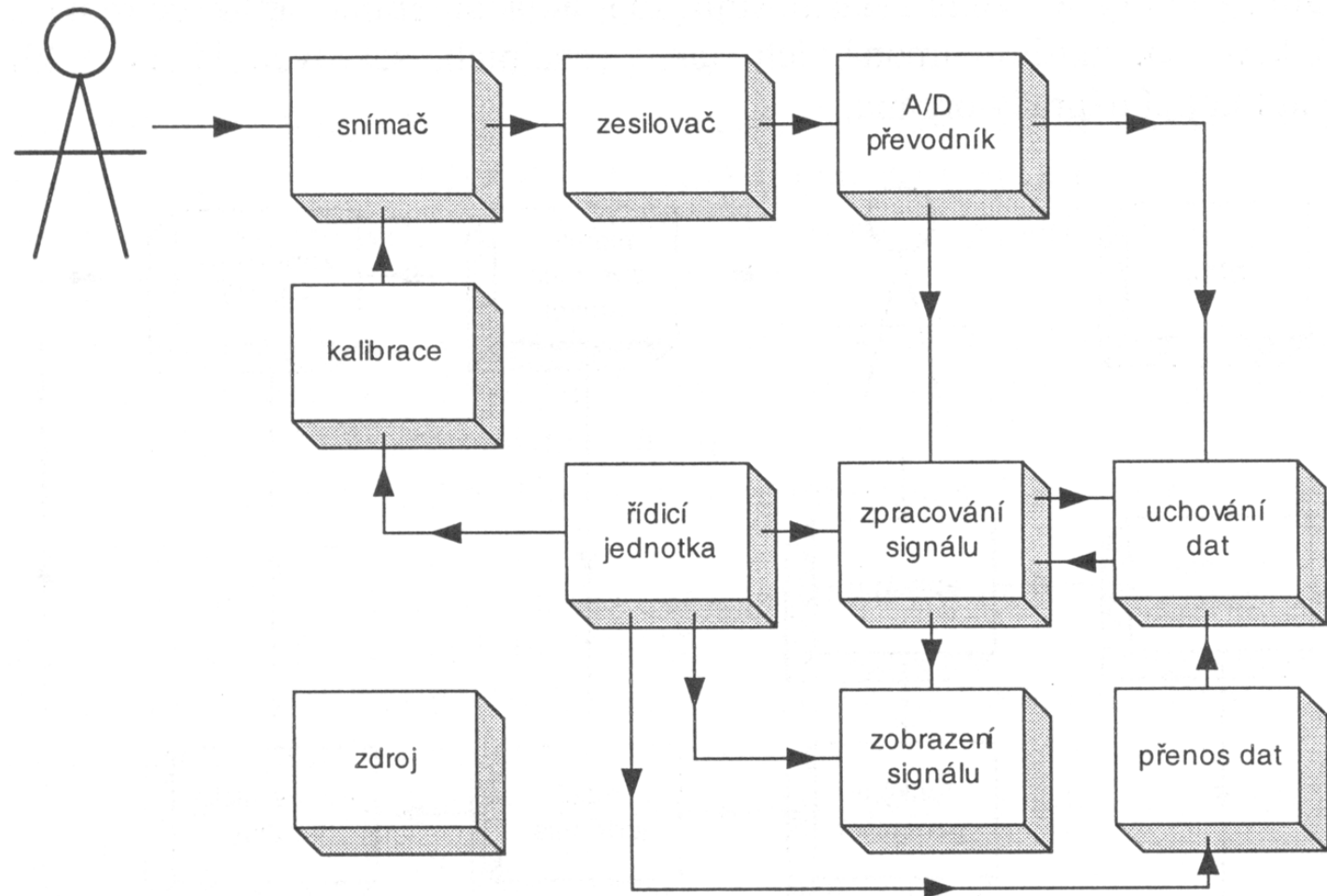
Micro-Cap 8 Evaluation Version
Přenosová charakteristika 2. řádu - RLC obvod



Obecné schéma lékařského přístroje

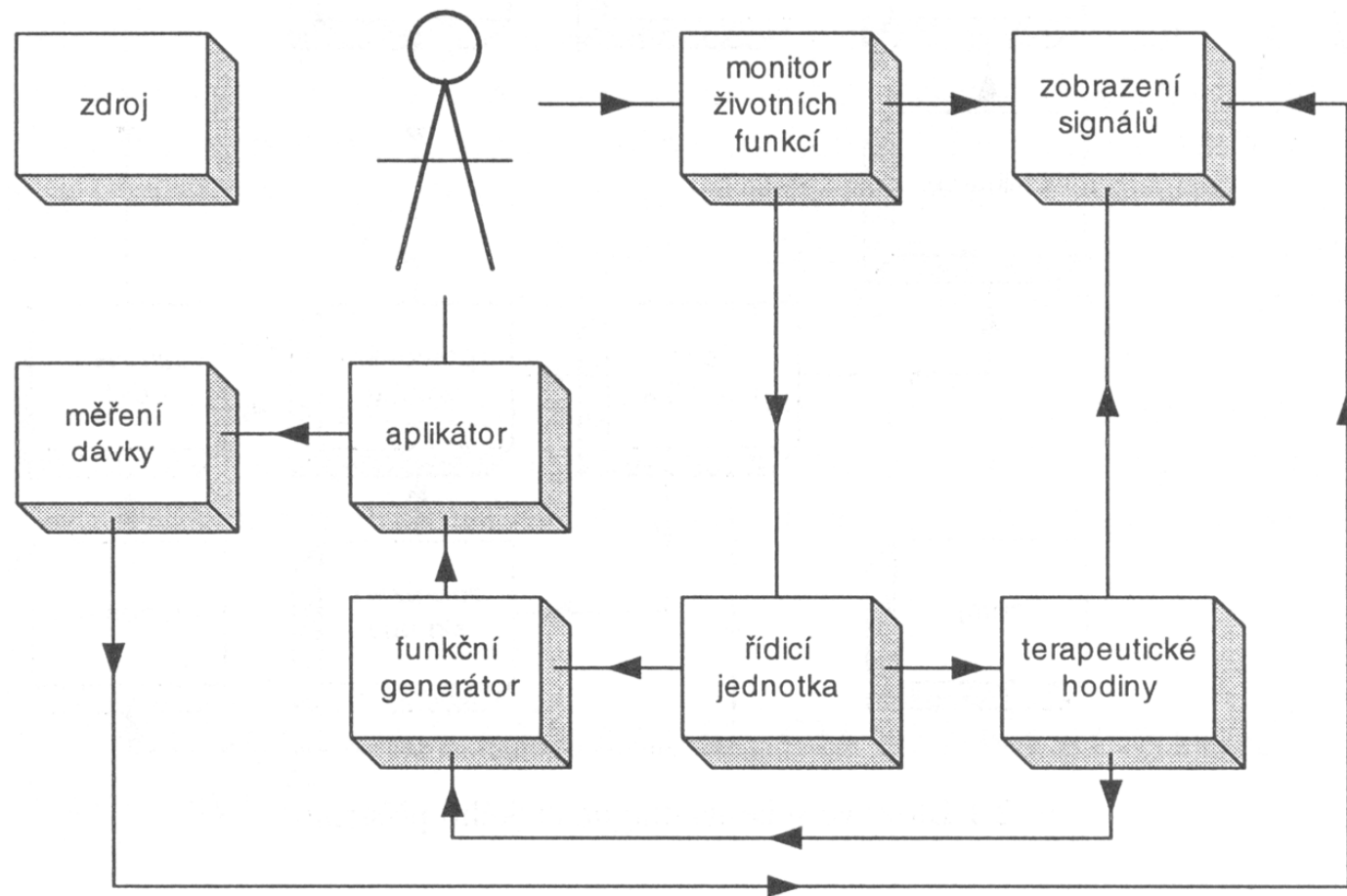
- diagnostické přístroje
 - přístroje jsou určeny pro sledování životních funkcí pacienta
 - transport signálu především ve směru od sledované osoby k přístroji
- terapeutické přístroje
 - přístroje jsou určeny pro ovlivnění stavu pacienta
 - transport signálu především ve směru od přístroje ke sledované osobě

Diagnostické přístroje



Rozman J. a kol.: Elektronické přístroje v lékařství. Academia, Praha, 2006.

Terapeutické přístroje



Požadavky na přístroje

- požadavky na elektrické lékařské přístroje jsou uvedeny v příslušných normách a standardech
 - ČSN EN 60601-1 Zdravotnické elektrické přístroje – Část 1: Všeobecné požadavky na základní bezpečnost a nezbytnou funkčnost (platné pro ČR a EU)
 - dále např. ČSN EN 60601-2-25 Zdravotnické elektrické přístroje – Část 2: Zvláštní požadavky na bezpečnost elektrokardiografů
 - ANSI¹, AAMI² standards (platné USA, celosvětově)

¹ American National Standards Institute

² The Association for the Advanced of Medical Instrumentation

Literatura

1. Rozman, J. a kol.: Elektronické přístroje v lékařství. Academia, Praha, 2006.
2. Webster, J. G.: Medical Instrumentation – Application and Design. Wiley, 4th ed., 2007.
3. Carr, J. J., Brown, J. M.: Introduction to Biomedical Equipment Technology. Prentice Hall, 4th ed., 2000.